

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja Maateaduste Instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogias (12 EAP)

**Päideroo kasvatamine Keressaare jääkturbaalal -
veetaseme tõstmise mõju taimede kasvule ning süsiniku
sidumisele**

Madli Jürgenson

Juhendajad: Ivika Ostonen-Märtn, PhD

Martin Maddison, PhD

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Tartu 2020

Annotatsioon

Päideroo kasvatamine Keressaare jääkturbaalal - veetaseme tõstmise mõju taimede kasvule ning süsiniku sidumisele.

Päideroogu (*Phalaris arundinaceae*) kasutatakse energiakultuurina ning freesturbaväljade taimestamiseks. Päideroo edukaks kasvuks on oluline teada, millistes niiskustingimustes kasvab taim kõige efektiivsemalt. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli analüüsida päideroo kasvu väetatud aladel kõrge ja madala veetaseme tingimustes. Teiseks eesmärgiks oli analüüsida, kuidas veetaseme tõstmine mõjutab päideroo maapealse ja maa-aluse biomassi dünaamikat ja süsiniku sisaldust. Antud töös on analüüsitud päideroo kõrguskasve, maapealsete ja maa-aluste biomasside väärtuseid, aastast produktsiooni, juur/võsu suhteid ja biomasside C kontsentratsioone kõrge ja madala veetaseme tingimustes. Analüüsi tulemusel leiti, et päideroo kasv ja produktsioon olid suurimad kõrge veetasemetega aladel.

Märksõnad: Päideroog, biomass, veetase, süsiniku talletamine.

CERCS kood: T270, Keskkonnatehnoloogia.

Abstract

Growing reed canary grass on cutaway peatlands – the effect of raised water level on plant growth and carbon storage.

Reed canary grass (*Phalaris arundinaceae*) is used as an energy crop and for recultivating cutover peatlands. In order to successfully grow reed canary grass (RCG), it is important to know in which soil water content conditions the plant grows most efficiently. The aim of this bachelor's thesis was to analyze the growth of RCG in fertilized areas under high and low water conditions. The second objective was to analyze how raising the water level affects the above- and belowground biomass dynamics and carbon content of reed canary grass. In this work, the height of RCG, above-ground and belowground biomass and annual production estimations, root/shoot ratios and biomass C concentrations under high and low water conditions have been analyzed. Results of this thesis showed that RCG growth and yield were highest in high water conditions.

Keywords: Reed canary grass, biomass, water level, carbon storage.

CERCS code: T270, Environmental technology.

Sisukord

1. Kirjanduse ülevaade	5
1.1 Sood ja turbaalad	5
1.1.1 Frees-jääksood	5
1.1.2 Süsinikubilanss jääksoodes	6
1.2 Päideroog (<i>Phalaris arundinaceae</i>)	7
1.2.1 Päideroo kasvu ja produktsiooni mõjutavad tegurid	8
2. Materjal ja metoodika	9
2.1 Uurimisala kirjeldus	9
2.2 Biomassi ja produktsiooni mõõtmised	10
2.3 Keemilised analüüsid	11
2.4 Andmeanalüüs	11
3. Tulemused ja arutelu	12
3.1 Keskkonnaparametrid	12
3.2 Kasvudünaamika	14
3.3 Päideroo maapealne ja maa-alune biomass	15
3.3.1 Päideroo maapealne ja maa-alune aastane produktsioon	16
3.3.2 Juur/ võsu suhe	18
3.4 Süsiniku kontsentratsioon biomassis	19
Kokkuvõte	20
Summary	21
Tänuavaldused	23
Kirjandus	24
Lisa 1	26
Lisa 2	28
Lisa 3	29
Lisa 4	29
Lisa 5	30
Lisa 6	30
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	33

Sissejuhatus

Eestis on jääksoid ehk mahajäetud turbatootmisalasid ligikaudu 9800 ha. Lõpuni ammendamata turbatootmisalad on arvestatavad CO₂ emissioonide allikad, mõjutavad ümberkaudselt hüdroloogilist režiimi ning madala veetaseme tõttu tuleohtlikud. Sellest tulenevalt on vaja jääksoid korrastada. Freesturba kaevandamisega ammendatud jääksoode looduslik taastaimestumine võib kesta aastakümneid ning tekkinud taimkate võib oluliselt erineda esialgsest taimekooslusest (Keskkonnaministeeriumi..., 2018; Paal, 2011).

Endiste turbatootmisalade rekultiveerimise üheks meetmeks loetakse päiderooga (*Phalaris arundinacea*) taimestamist. Mahajäetud turbatootmisaladel on algne floora ja fauna hävinenud ning ebastabiilsed niiskustingimused. Jääksoode taastaimestumist mõjutavad turba kaevandamisel kasutatud tehnoloogia, jääkturbakihi paksus, turba pH ja jääkturbas elavad mikroorganismid (Paal, 2011; Triisberg, 2014). Päiderooga taimestamiseks on vaja luua taimekasvuks soodsad keskkonnatingimused. Päideroo kasvu üheks olulisemaks mõjuteguriks on niiskustingimused ning taime optimaalseks kasvuks on vajalik teada, kuidas ja millisel määral mõjutab veetase taimekasvu. Päideroog võib soodsate tingimuste korral muutuda ka invasiivseks ning siis on vajalik teada, kuidas päideroo kasvu pidurdada, näiteks veerežiimi muutmisega.

Selle bakalaureusetöö raames analüüsiti, kuidas mõjub veetaseme tõstmine päideroo kasvule ja produktsioonile. Teiseks analüüsiti erinevusi süsiniku sidumises taimsesse biomassi seoses veetaseme erinevustega. Tulemused võimaldavad päideroo külvamisel ja kasvatamisel hinnata veetaseme reguleerimise vajadust ning selle mõju süsiniku talletamisele.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1 Sood ja turbaalad

Looduslikud sood on märgilise tähtsusega märgalad. Soodel on veevarude kujunemise ja säilitamise funktsioon. Sood on ka olulised kasvuhoonegaaside, eeskätt süsihappegaaside sidujad, mõjutades seeläbi globaalset kliimat (Rattas jt., 2015).

Sood ja turbaalad katavad ~ 22% Eesti pindalast (Orru, 1992). Soodeks määratletakse selliseid kuivendamata ja püsivalt kõrge veetasemega alasid, kus toimub aktiivne turba ladestumine ning turbakihi paksus on vähemalt 30 cm. Mistahes түsedusega turbakihiiga kaetud maad käsitletakse turbaalana, sõltumata sellest, kas turba ladestumine jätkub või on katkenud (Masing, 1988; Paal, 2011).

Soode üks tähtsaim väärtus on turvas, olles väga aeglaselt taastuv maavara. Turvas on väga universaalne, leides kasutust nii kütteturbana, aiandus- ja alusturbana, keemiatööstuses (värvained, turbavahad, kosmeetikatooted), tekstiilitööstuses, ehitusmaterjalina kui ka kahjulike ainete sidujana (Rattas jt., 2015).

Turba kaevandamise üheks osaks on soode kuivendamine, sest turvas on looduslikus keskkonnas väga niiske. Vee ära juhtimiseks eraldatakse töödeldav ala ülejäänud soost kraavidega. Turvas on hea vee siduja ja seetõttu tuleb kraavid rajada üpris tihedalt, misjärel tekib kraavide võrgustik (Eesti Turbaliidu..., (i.a)).

1.1.1 Frees-jääksood

Turba kaevandamise tagajärjel tekib kahte liiki soid: kõdusood ja jääksood. Kõdusooks kutsutakse kuivendatud soid ning jääksood on endised turbakaevandamisalad, kus turvas on masinatega kaevandamiseks ammendatud (Rattas jt., 2015).

Suurem osa Eesti soostunud aladest on kuivendatud, mis mõjub halvasti ümberkaudsele veerežiimile ja bioloogilisele mitmekesisusele. Samuti on niisugustel aladel madal pinnasevee tase ning suvise kuumusega muutuvad need tuleohtlikuks. 1950. aastal tekkis Eesti soodes ~ 1.2 mil. t turvast. Tänapäeval on turba moodustumine kõigest ~ 0.5 mil. t aastas, seega aasta jooksul akumulbeerunud turba kogus on vähenenud ligi 3 korda (Paal, 2011; Rattas jt., 2015).

1950. aastatel võeti kasutusele freestehnoloogia, mis on nüüdseks enim levinud turba kaevandamise tehnoloogia. Freesimise käigus eemaldatakse lasundi pealmisest kihist kõigest 10 – 20 mm paksune kiht, mis jäetakse frees-jääksoo peale tuule ja päikese kätte kuivama. Seetõttu iseloomustabki freesväljakuid suur pindala (Eesti Turbaliidu..., (i.a); Trumm jt., 2012).

Freesimisega eemaldatakse kaaliumi- ja fosforirikkam pindmine kiht, mis taimkatte puudumise tõttu enam algses kontsentratsioonis ei taastu. Seetõttu on jääksood toitainetevaesed ning nende taastaimestamiseks on vaja neid väetada (Wind-Mulder *et al.*, 1996). Pindmise turbakihi eemaldamine hävitab ka idanemisvõimelised seemned. Looduslikus soos levivad paljud taimed vegetatiivselt, kuid jääksoos toimub peamiselt seemnetega paljunemine tuulekande abil. Freesturbaväljasid iseloomustab suur pindala ja tihe kraavide võrgustik. See pärsib seemnete ja spooride levikut (Paal, 2011). Mahajäetud turbaaladel mõjutavad taastaimestumist ka jääkturbas elavad mikroorganismid, turbakihi eelnev töötlemistehnoloogia ja paksus ning pH (Triisberg, 2014).

Jääksoos kogunenud niiskuse kristalliseerumine ja pindmises turbakihis paisumine põhjustab turbaaladel külmakerget (Masing, 1992). Külmakerge takistab turbaalade taastaimestumist kahjustades noori idanevaid taimi ning võimendades tuuleerosiooni mõju. Külmakerge mõjutab ka täiskasvanud taimi, kergitades neid pindmises turbakihis ülespoole ja paljastades taime juured. See muudab taimed nõrgaks ja võib kaasa tuua nende hävimise (Groeneveld, Rochefort, 2002).

1.1.2 Süsinikubilanss jääksoodes

Looduslikus soos toimub süsiniku talletamine turba moodustumise käigus. Kuivendatud turbaaladel on turba tekkimine aga peatunud. Kuivendamisest põhjustatud madala veetaseme ja taimkatte puudumise tõttu on palju tüsedam turbakiht avatud aeratsioonile, põhjustades turba mineralisatsiooni. Mineralisatsiooni käigus eraldub atmosfääri märkimisväärne kogus CO₂. Sellest tulenevalt käituvad jääksood süsiniku allikatena, mõjutades seeläbi globaalset kliimat. (Paal, 2011).

1.2 Päideroog (*Phalaris arundinaceae*)

Päideroog on laialdaselt levinud mitmeaastane kõrreline, mis võib kasvada kuni 2 m pikkuseks. Enamasti on kõrrepikkuseks 50 - 100 cm. Päideroo kõrred on siledad ja paljad ning lehed paberjad. Pähikud on tavaliselt roosakad ja neil on kolm õit, millest otsapoolne õis on mõlemasooline. Päideroog paljuneb nii seemnete kaudu kui ka vegetatiivselt, moodustades pikki roomavaid maa-aluseid risoome (võsundeid). Päideroo õitsemisaeg on juunis-juulis (Kask, Vaga, 1966; Kuusk jt., 1979).

Päideroo sort "Pedja" on Eestis aretatud talvekindel ja vastupidav liik. Pedja on varajane ning tal on kõrge saagipotentsiaal (Noormets, 2007).



Joonis 1. Päideroo illustratsioon (Kansas State University..., 2016).

1.2.1 Päideroo kasvu ja produktsiooni mõjutavad tegurid

Päideroog on võimeline kasvama väga erinevates keskkonnatingimustes, taludes nii põuda, liigniiskust kui ka jäätumist. Sellest tulenevalt hõlmab päideroo looduslik leviala pea kogu Euraasia ja Põhja-Ameerika territooriume (Kuusk jt., 1979). Päideroogu peetakse põhjamaades üheks saagikamaks kõrreliseks (Bender, 2014). Kõige paremini on päideroog kohastunud kasvama niisketel muldadel, eriti hästi sobivad huumusrikkad, põhja- ja üleujutusveega toituvad toitaineterikkad mullad. Eestis leidub päideroogu enamasti veekogude kallastel ning ajutiselt üleujutatud lamminiitudel (Annuk, Aavola, 2006).

Soodsate kasvutingimuste korral on päideroog väga jõulise kasvuga ning võib aja jooksul teised liigid välja tõrjuda (Noormets, 2007). Päideroog on väga pikaeline taim, mis võib kasvada 12 ja enam aastat. Päideroo püsivust taimekoosluses vähendab liiga madal ja sage (rohkem kui 3 korda) niitmine, mis omakorda vähendab ka päideroo saagikust. Parima saagikuse tagab kuni kahekordne niitesagedus (kõrge niitekõrguse korral) (Annuk, 1979). Päideroo kasvuks on ebasobiv ka kõrge seisev põhjavesi (Annuk, Aavola, 2006).

Boreaalset piirkondi iseloomustab lühike vegetatsiooniperiood ning tänu päideroo kiirele ja varasele kasvule on päideroo kasvatamine sellistes piirkondades järjest kasvanud. Soomes tehtud päiderooga taimestamise katsete tulemused näitavad, et päideroog on võimeline siduma märkimisväärse koguse atmosfäärset süsinikku. Päiderooga taimestatud aladel olid süsinikukaod väiksemad võrreldes taimkatteta aladega. Need tulemused näitavad, et päideroogu võiks edukalt kasutada frees-jääksoode rekultiveerimiseks energiataimena. (Shurpali *et al.*, 2008).

Päideroo kasvatamine energia tootmise eesmärgil on muutunud väga perspektiivikaks tänu päideroo suurele saagikusele ning tema võimele kasvada väga erinevates tingimustes, mis enamusele taimedele on ebasobivad. Päideroo energiaheinana kultiveerimine jääkturbaaladel on kasulik ka põllumajanduslikust seisukohast, kuna jääb ära vajadus uute kasvukohtade loomiseks. Päideroogu kasutatakse ka biogaasi, etanooli ja paberitööstuses, mis teeb päideroost väärtusliku tooraine (Ust'ak *et al.*, 2019). Päideroo kasvatamisel energiataimena ollakse huvitatud suuremast maa-pealse biomassi tootlikkusest, mistõttu on oluline analüüsida, milliste keskkonnatingimuste muutudes kasvatab taim rohkem maa-pealset biomassi.

Keskkonnatingimuste muutumine tekitab taimedes stressi, mille tagajärjel muutub tavaliselt ka rohttaimede juur-võsu suhe. Ebasobivamate tingimuste korral kasvatab taim rohkem juuri ja risoome, mis aitavad tal ebasoodsad ajad üle elada ning järgmisel kasvuperioodil uuesti võrsuda (Zhang *et al.*, 2014)

2. Materjal ja metoodika

2.1 Uurimisala kirjeldus

Päideroo (*Phalaris arundinaceae*) kasvu erineva veetasemega katselappidel uuriti Keressaare turbaväljadel, Sookalduse külas Tartumaal (XY: 6490089.56, 675366.33; H: 63 m).

Päideroog külvati 16. katselapile 2015. aastal. Tootmisest kõrvalejäänud freesturbaala taimestamiseks kasutati eestimaist päideroo sorti „Pedja“.

Uuritav jääkturbaväljak jaguneb kaheks: madala ja kõrge veetasemega alaks, kus kummaski on 4 väetatud ja väetamata katselappi ning 1 kontrollala freesturbal (Joonis 2).



Joonis 2. Keressaare jääkturbaala koos uuritavate katselappidega (Maa-ameti..., 2017). Punasega on märgitud väetatud alad ja sinised tähistavad algselt väetamata katselappe. Tähistused kaardil: RO-k – päiderooga taimestatud kõrge veetasemega katselapp, FR-k – kõrge veetasemega freesturba katselapp, RO-m – päiderooga taimestatud madala veetasemega katselapp, FR-m – madala veetasemega freesturba katselapp. Uurimisalade fotod paiknevad lisas 1.

Enne päideroo külvamist võeti kõigilt kavandatud aladelt kompleksproovina turbaproovid (pH, lämmastik, kaalium, fosfor), et määrata väetisnorm ning turba neutraliseerimiseks lubja kogus.

Kõik katselapid lubjati. Kõikide proovilappide lupjamist korralditi aprillis 2016. a ja mais 2017. a. Kaheksa katselappi väetati ($N_{22}P_{25}K_{53}$ kg h a⁻¹) esmakordselt katse rajamisel. Algselt väetatud proovilappidel pandi väetist teisel aastal $N_{45}P_{11}K_{45}$ kg h a⁻¹ ja kolmandal $N_{100}P_{25}K_{100}$ kg h a⁻¹. Kuna algselt väetamata katselappidel taimed ei hakanud kasvama, siis eksperimendi viimasel aastal (3. aasta) külvati lappidele uuesti päideroo seeme ja väetati ($N_{50}P_{55}K_{120}$ kg h a⁻¹) (Maddison jt. 2019).

2016. aastal reguleeriti veetasel väljakutel kraavidele ehitatud tammidega. 2017. a. aprillist augusti lõpuni pumbati vett madala veetasemega katselappide juures olevatest kraavidest kõrgema veetasemega katselappidele, et suurendada kõrge ja madala veetaseme erinevust ning vähendada kõrgema veetasemega lappidel veetaseme kõikumist. Eksperimendi algusest alates mõõdeti kõigil proovilappidel pidevalt veetasel rõhusensoritega Hobo Onset U20-001-01. Sensorid olid ühendatud andmesalvestus seadmega Campbell CR1000 (Maddison jt. 2019).

Käesoleva bakalaureusetöö algandmed on pärit Martin Maddisoni teostatud välitöödelt ning juureproovide väljapesu on teostatud Ivika Ostonen-Märtini juhtimisel. Töö autor osales juureproovide pesemisel ning kaalumisel. Antud töös on kasutatud ainult väetatud ja freesturba katselappide andmeid.

2.2 Biomassi ja produktsiooni mõõtmised

Päideroo maaapealse ja maa-aluse biomassi proovid koguti kevadel 20.04.2016 ja 25.04.2017 ning sügisel 30.08.2016 ja 05.09.2017. Taimede maksimaalne vegetatiivne kasvuperiood (juuli, august) on käsitletud antud töös sügisena. Maaapealne biomass koguti igalt katselapilt kolmelt juhusliku asukohaga 0,25 x 0,25 m ruudult, kokku 24 proovi. Taimed lõigati kääridega mullapinna lähedalt maha ning viidi laborisse kuivama. Maa-alune biomass koguti samadelt ruutudelt 10 cm diameetriga mullapuuriga, kokku 24 proovi. Mullaproovid koguti kuni 20 cm sügavuseni, sest enamuse juuri ja risoome kasvab mulla pindmises kihis (Robinson *et al.*, 2003).

Seejärel transporditi mullaproovid laborisse, kus neid säilitati külmkapis temperatuuril +4°C kuni pesemiseni. Juureproovid pesti voolava vee all ja < 2 mm silmaga sõela kasutades. Turbaosakestest puhtad juureproovid kuivatati kõigepealt toakuivaks, seejärel 48 h termokapis 70°C juures absoluutkuivaks. Termokapis, samal temperatuuril ja sama ajaga kuivatati absoluutkuivaks ka maapealne biomass. Kõik proovid kaaluti KERN PB 5200 kaaluga (mõõtetäpsus 0.1 g).

Päideroo produktsioon arvutati järgmiselt. Kuna maapealne biomass koguti maksimaalse kasvu ajal ja talveks kogu maapealne mass sureb, siis produktsiooniks loetigi maksimaalse biomassi kasvu ajal kogutud taimne mass. Juurte ja risoomide produktsioon arvutati 2016. ja 2017. a. kohta samade aastate sügiseste ja kevadiste biomassi hinnangute vahena, ehk ühe kasvuperioodi jooksul lisandunud biomass loeti produktsiooniks nimetatud ajaperioodi kohta.

Taimede kõrguseid mõõdeti kokku kümnel päeval ajavahemikes 06.07.2016 - 19.08.2016 ning 08.09.2017 - 05.09.2017 nõelameetodil ehk 10 kohas katselapil torgati mõõdulint mullapinnani ning hinnati lähima taime kõrgus.

2.3 Keemilised analüüsid

2017. aasta juureproovid (16 tükki) saadeti 03.12.2019 laborisse, kus määrati üldorgaaniline süsinik (TOC), vastavalt standardile ISO 10694. Kasutatud aparatuur: Vario TOC, Solid Module; 950° C, Elementar GmbH, Germany.

Süsinikuvaru maapealses ja maa-aluses biomassis arvutati vastavate TOC kontsentratsioonide ja biomassihinnangute korrutamisel (Lisa 5).

2.4 Andmeanalüüs

Statistiline analüüs viidi läbi kasutades programmi Statistica 13.5 (TIBCO). Tunnuste normaaljaotust kontrolliti Kolmogorov-Smirnovi, Lillieforsi ja Shapiro-Wilki testidega. Maapealsed ja maa-alused biomassid madala ja kõrge veetasemega aladel vastasid normaaljaotustele. Maapealsete ja maa-aluste biomasside erinevust kõrge ja madala veetasemega alal kontrolliti dispersioonanalüüsil Tukey testiga. Taimede keskmise kõrguskasvu muutust kõrge ja madala veetasemega aladel hinnati korrelatsioonanalüüsil. Olulisuse nivoo oli kõikidel juhtudel $p < 0.05$.

3. Tulemused ja arutelu

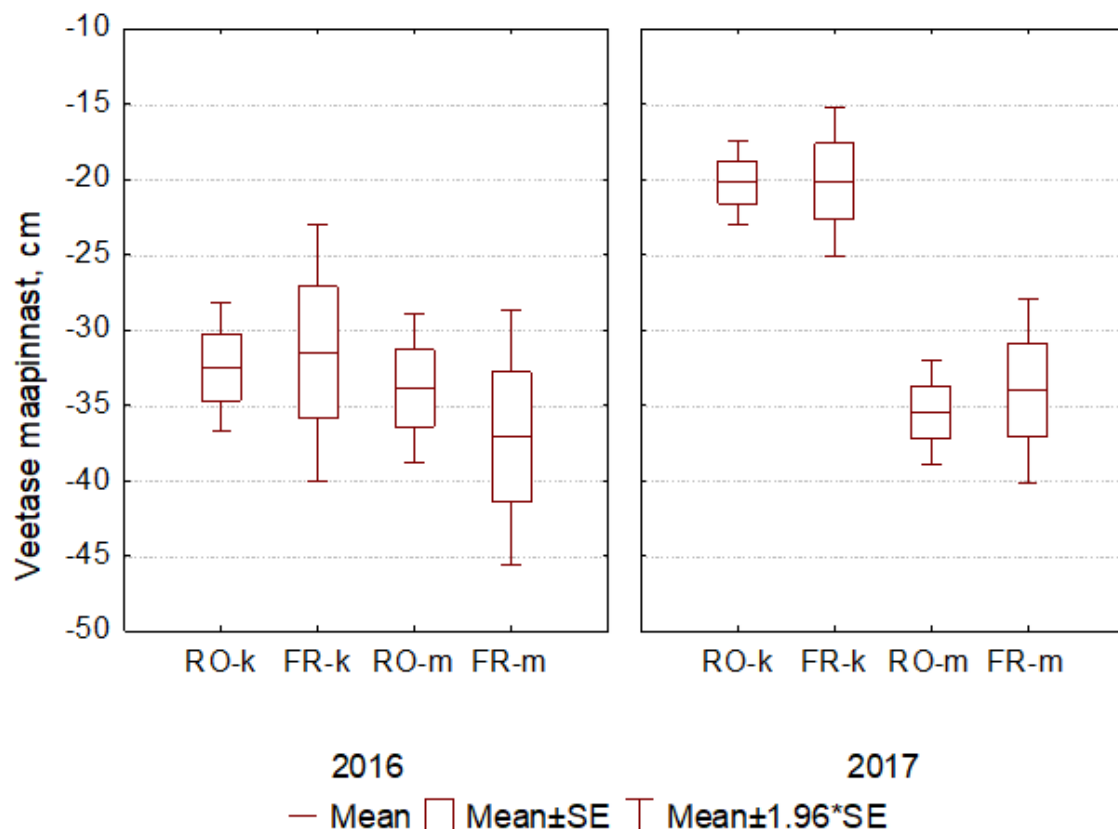
3.1 Keskkonnaparameetrid

Enne päideroo külvamist 2015. a. võeti kõigilt kavandatud aladelt kompleksproovina turbaproovid, et määrata väetisnorm ning turba neutraliseerimiseks lubja kogus. Turba algne pH oli keskmiselt 2,7, N(lämmastik) sisaldus 10000 mg kg⁻¹, P(fosfor) 205 mg kg⁻¹ ja K(kaalium) 87 mg kg⁻¹. Tabelis 1 on toodud peamised turbakeemia parameetrid Keressaare uurimisalal 2015. - 2017. a peale vegetatsiooniperioodi võetud turbaproovides.

Turbaparameetrid	Aasta	Kõrge veetase		Madal veetase	
		Päideroo ala	Freeturbaala	Päideroo ala	Freeturbaala
Turba pH _(KCL) (0-10 cm)	2015	3,7	2,7	4,7	2,7
	2016	4,9	2,8	4,8	2,9
	2017	5,0	3,0	5,0	3,1
Turba N(0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	2015	11250	10000	10425	11000
	2016	12000	12000	11450	12000
	2017	10750	11000	11250	10000
Turba P(0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	2015	242	220	210	210
	2016	310	250	252	210
	2017	350	290	335	220
Turba K(0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	2015	110	87	110	87
	2016	243	83	160	58
	2017	170	83	162	72

Tabel 1. Peamised Keressaare turbatootmisalal läbi viidud eksperimendi katsealasid kirjeldavad turbakeemia parameetrid 2015.-2017. aastatel peale vegetatsiooniperioodi (Maddison jt., 2017).

Tabelist 1 on näha, et päiderooga taimestatud katselappidel oli nii kõrge kui ka madala veetasemetega aladel turba pH suurenenud keskmiselt 2 korda, võrreldes turba algse (2,7) pH-ga. Hoolimata iga-aastasest väetamisest oli kõrge veetasemega alal kolmandal (2017) aastal turba lämmastiku sisaldus võrreldes 2016. aastaga väiksem. See võib viidata taimede kiirele kasvule, sest taimed vajavad kasvamiseks toitaineid lämmastikku kõige rohkem. Madala veetasemega aladel N sisaldus samadel aastatel ei muutunud. Samas võib N vähenemine kõrge veetasemega aladel 2017. aastal viidata ka suurenenud välja leostumisele. Kõikidel aladel N, P ja K sisaldus turbas varieerus aga ei suurenenud kogu uurimisperioodi jooksul.



Joonis 3. Aasta keskmised veetasemed (cm) maapinnast päiderooga taimestatud katselappidel ja freesturbal oleva kontrollalal (Maddison, 2020). RO-k – päiderooga taimestatud kõrge veetasemega katselapp, FR-k – kõrge veetasemega freesturba katselapp, RO-m – päiderooga taimestatud madala veetasemega katselapp, FR-m – madala veetasemega freesturba katselapp.

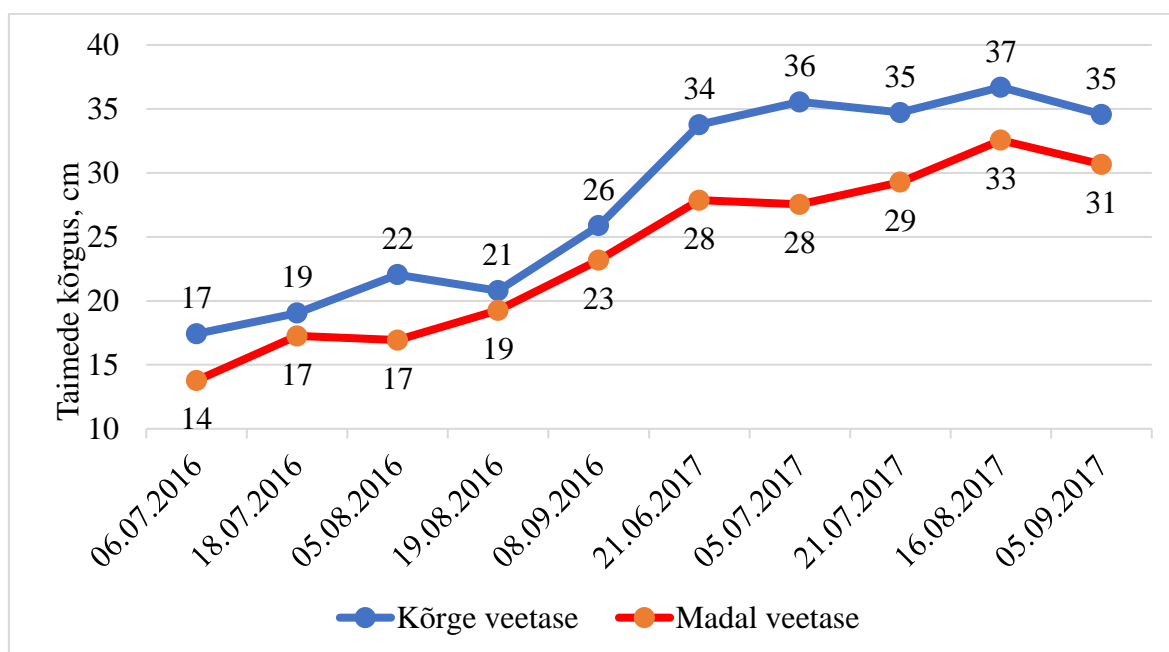
2016. aastal oli veetase turbatootmisalal reguleeritud kraavidele ehitatud tammidega. Jooniselt 3 on näha, et 2016. aastal oli kõrge veetasemega alal päiderooga taimestatud katselappidel veetase madalam kui freesturbal oleva kontrollalal. Seda saab seletada sellega, et osa veest kulus päiderool kasvamiseks, kuid freesturbaalal ei olnud veetase päideroo vee tarbimisest mõjutatud. Sama aasta madala veetasemega alal näeme vastupidist olukorda, kus päiderooga taimestatud katselappidel oli veetase kõrgem kui freesturbal oleva kontrollalal. Madala veetaseme korral suunab taim veevarud juurtesse ja hoiab seeläbi ühtlasemat veetaset pinnases (Zhang *et al.*, 2014). Kontrollalalt aurustus taimkatte puudumise tõttu ka suuremas koguses niiskust ning veetase langes kiiremini ja oli muutlikum.

Sademe koguhulgad olid 2016. aastal 557.67 mm a⁻¹ ja 2017. aastal 605.6 mm a⁻¹ ning need omavahel oluliselt ei erinenud (meteo... 2017).

2017. a. aprillist augusti lõpuni pumbati vett madala veetasemega katselappide juures olevatest kraavidest kõrgema veetasemega katselappidele, et suurendada kõrge ja madala veetaseme erinevust ehk 2017. aastal oli kõrge veetasemega katselapil veetase palju kõrgem võrreldes 2016. aastaga. See on vastavuses ka taimede kõrgusega (Joonis 4), ehk 2017. aastal oli ka taimede kõrgused suuremad kui 2016. aastal. Kuigi 2017. aastal oli madala veetasemega katselapil veetase madalam kui sama veetasemega alal 2016. aastal, oli päideroo maaapealne kasv siiski suurem 2017. aastal (Joonis 4). See võib tuleneda sellest, et päideroog on mitmeaastane taim ning kolmandaks kasvuaastaks oli kujunenud ulatuslik juurestik, mis varutud mineraalainete ja niiskusega suutis rohkem maaapealset rohtset massi kasvatada kui sarnastel tingimustel eelneval kasvuaastal.

3.2 Kasvudünaamika

Jooniselt 4. nähtub, et taimede kõrgus on suuresti sõltuvuses veetasemest. Kõrgema veetasemega aladel oli nii 2016. kui 2017. aastal päideroo maaapealne kasv kõrgem kui madala veetaseme korral. Eeltoodud annab kinnitust päideroo niiskuselembusest ning sellest, et veetaseme tõstmise korral on taimede kasv suurem.



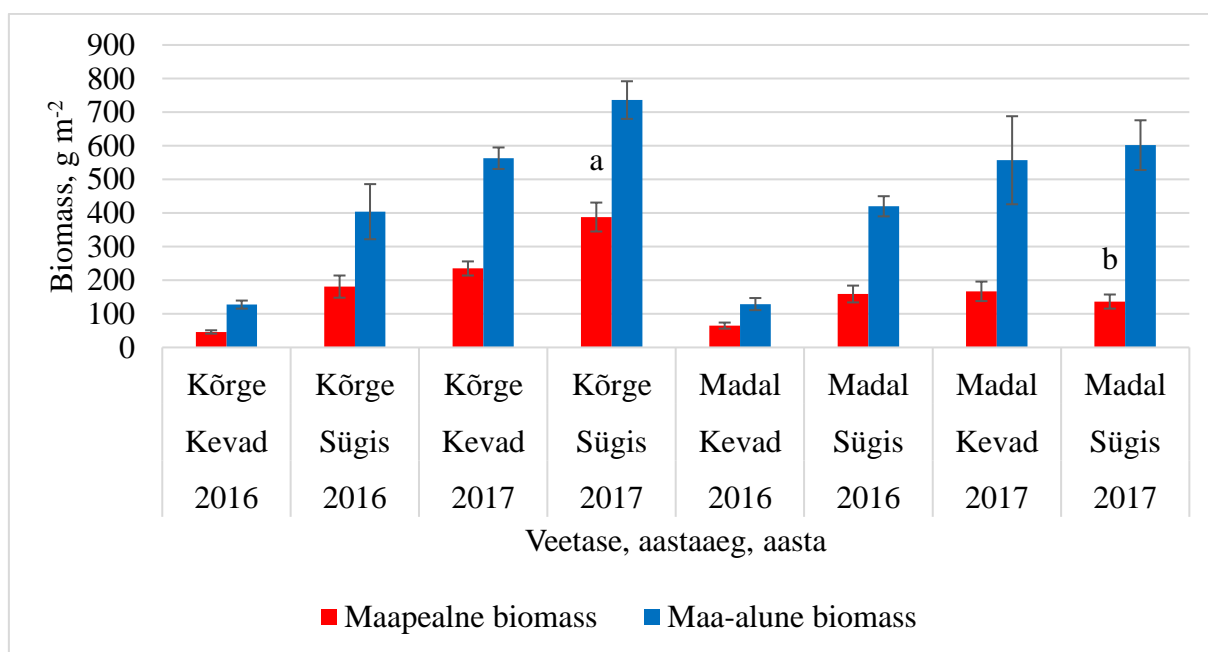
Joonis 4. Taimede kõrgus (cm) kõrge ja madala veetaseme korral aastatel 2016-2017.

Pearsoni korrelatsioonanalüüs näitas, et madala ja kõrge veetasemega katselappidel kasvavate taimede keskmised kõrguskasvukäigud olid väga tugevas korrelatsioonis ($r = 0.97$, $p < 0.001$, $n = 10$) ning absoluutne keskmine kõrguskasv oli kõrge veetasemega katselappidel kasvavatel

taimedel kogu uurimisperioodi vältel 2-8 cm kõrgem (Joonis 4). Siiski, hoolimata nimetatud tendentsist, taime keskmine kõrgus erineva veetasemega katselappidel ühelgi uuritud kuul omavahel oluliselt ei erinenud, sest taimekoosluse sisene kõrguskasvude varieeruvus oli sedavõrd suur (Lisa 2).

3.3 Päideroo maapealne ja maa-alune biomass

Kahe kasvuperioodi järgselt, 2016 aasta sügisel, oli päideroo maapealne ja maa-alune biomass vastavalt $181 \pm 33 \text{ g m}^{-2}$ ja $404 \pm 82 \text{ g m}^{-2}$ kõrge veetasemega turbaalal. Madala veetasemega katselappidel oli sama aasta sügisene keskmine maapealne ja maa-alune biomass vastavalt $159 \pm 25 \text{ g m}^{-2}$ ja $420 \pm 30 \text{ g m}^{-2}$ (Joonis 5). Maa-pealne biomass oli kõrge veetasemega alal oluliselt suurem 2017. a. sügisel (vastavalt $388 \pm 43 \text{ g m}^{-2}$) võrreldes sama aasta sügisese madala veetasemega alaga (vastavalt $137 \pm 21 \text{ g m}^{-2}$). Maa-alune biomass oli aasta pärast külvamist (kevad 2016) kõrge ja madala veetasemega katselappidel sarnane, vastavalt $128 \pm 12 \text{ g m}^{-2}$ ja $129 \pm 18 \text{ g m}^{-2}$, kuid seejärel suurenes kõrge veetasemega katselappidel kiiremini võrreldes madala veetasemega katselappidega (Joonis 5). 2017. a. sügisel oli päideroo juurte ja risoomide biomass oluliselt suurem maapealsest biomassist (Lisa 3).

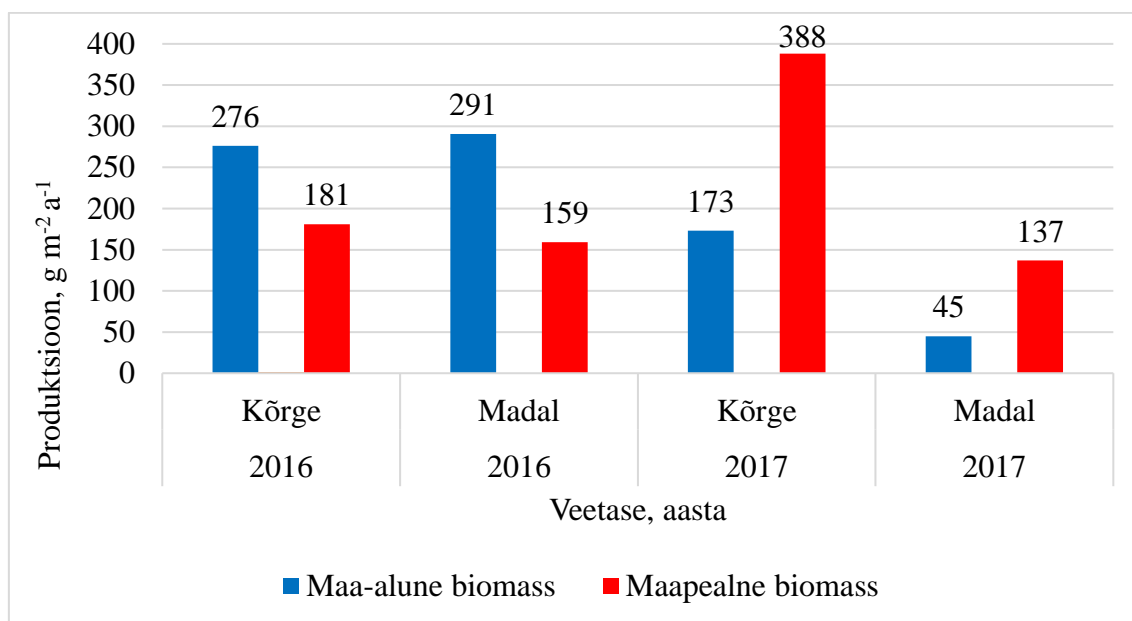


Joonis 5. Maapealne ja maa-alune biomass (g m^{-2}) kõrge ja madala veetaseme korral. Kõrge ja madala veetasemega katselappide maapealsete biomasside statistiline erinevus on märgitud tähtedega a ja b ($p < 0.05$).

Kahe aasta lõikes oli näha nii kõrge kui ka madala veetaseme korral maa-aluse biomassi suurenemist. See on seletatav sellega, et päideroog on mitmeaastane taim ning iga kasvuaastaga suurenes ka juurte mass ja pindala turbas. Maapealne biomass oli aga mõlemal aastal nähtavalt mõjutatud veetasemest, olles madala veetaseme korral väiksem ning kõrge veetasemega alal suurem (Joonis 5).

3.3.1 Päideroo maapealne ja maa-alune aastane produktsioon

Aastal 2016 olid päideroo maa-alused ja maapealsed kuivainesaagikused nii kõrge kui ka madala veetaseme korral sarnased, kogusaagikused vastavalt $457 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja $450 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Maa-aluse biomassi produktsioon oli 2016. aastal kõrge veetasemega alal $276 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja madala veetasemega alal $291 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ning maapealse biomassi tootlikkus kõrge veetaseme korral $181 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja $159 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ madala veetasemega alal (Lisa 4).



Joonis 6. Päideroo maapealsete ja maa-aluste biomasside aastased produktsioonid ($\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) kõrge ja madala veetasemega aladel.

2017. aastal oli kogusaagikus madala veetasemega aladel oluliselt madalam ($182 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) võrreldes kõrge veetasemega katselappide produktsiooniga ($561 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Viimane oli eelneva 2016. aastaga võrreldes tõusnud. Madala veetasemega katsealadel vähenesid mõlemad, nii maapealne kui ka maa-alune produktsioon (Joonis 6). Maa-aluse biomassi produktsioon oli eelneva (2016) aastaga võrreldes vähenenud ning ka kõrge ja madala veetasemega aladel olid suured erisused, vastavalt $173 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ kõrge veetasemega alal ja $45 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ madala

veetasemega alal. Maapealse biomassi produktsioonis oli näha suurt kasvu võrreldes eelneva aastaga ning suurt erinevust kõrge ($388 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)- ja madala ($137 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) veetaseme korral (Joonis 6). See annab kinnitust, et päideroog on kõige suurema produktiivsusega kõrge veetasemega aladel.

Aastal 2016 oli päideroo maa-aluse ja maapealse osa kogusaagikused küllaltki sarnased, vastavalt $457 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja $450 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Antud töö tulemused on sarnased ka (Järveoja, 2011) magistritöö tulemustega, kus olid nii väetatud kui väetamata aladel kevadised ja sügisesed kogusaagikused üldjoontes samas suurusjärgus. Selle põhjuseks arvati olevat turba madal lämmastiku sisaldus, mis pärsib mikroorganismide tööd orgaanika lagundamisel. Antud töös 2016. aastal madala ja kõrge veetasemega päiderooga taimestatud alad mullakeemiliselt ei erinenud (Tabel 1).

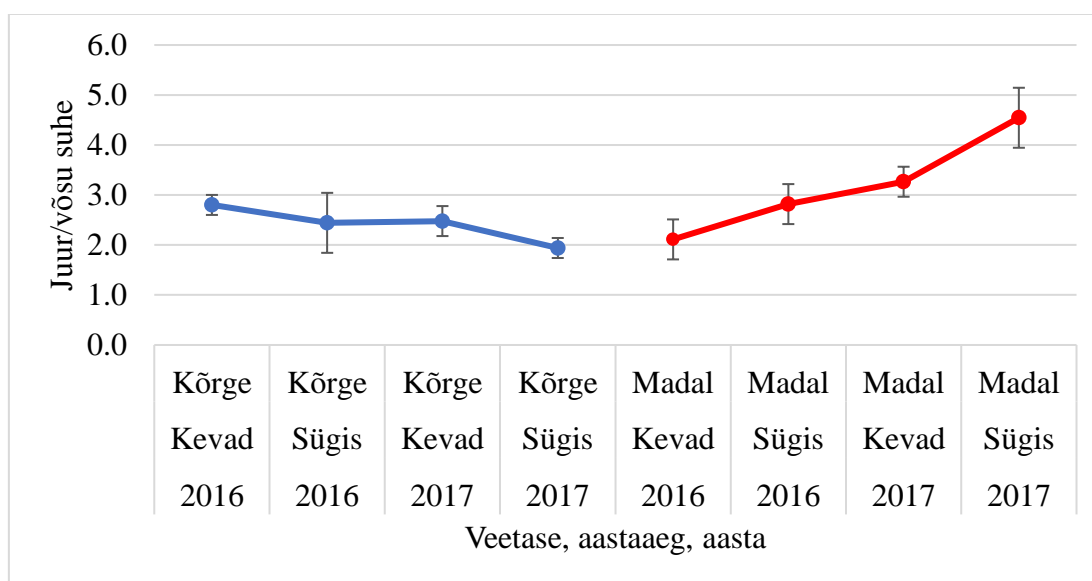
Saadud produktsioonide andmed kattuvad ka keskmiste veetasemete andmetega (Joonis 3), kus 2016. aastal olid kõrge ja madala veetasemetega katselappidel veetasemed sarnased. Samuti olid ka 2016. aasta maa-aluste ja maapealsete biomasside produktsioonid kõrge veetasemega alal sarnased samade biomasside produktsioonidega madala veetaseme korral. 2017. aastal oli nii veetasemete kui ka biomasside väärtustel suured erinevused kõrge ja madala veetasemega alade vahel.

Kõrvutades produktsioonide andmed keskmiste veetasemetega (Joonis 3) näeme, et ~20 cm sügavusel maapinnast oleva veetaseme korral oli päideroo maapealne produktsioon suurim ($388 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ning kõige väiksem produktiivsus ($137 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) oli ~35 cm sügavusel maapinnast oleva veetaseme korral.

Kuna päideroo energiaheinana kasvatamisel on just maapealne produktsioon tähtsaim, siis saab väita, et hoides veetaset ~20 cm sügavusel maapinnast annab kõige parema maapealse saagikuse.

3.3.2 Juur/ võsu suhe

Kõrge veetasemega alal oli 2016. ja 2017. aastal juur/võsu suhe kevadel suurem (vastavalt $2,8 \pm 0,2$ ja $2,5 \pm 0,3$) kui samade aastate sügistel (vastavalt $2,4 \pm 0,6$ ja $1,9 \pm 0,2$) (Lisa 6). Sellest võib järeldada, et päideroole sobib kasvada kõrgema veetaseme tingimustes. Taime juurestiku ülesandeks on taime toetamine ning vee ja toitainete omastamine (Zhang *et al.*, 2014). Kui päiderool on sobivad kasvutingimused – piisavalt vett ja mineraalaineid, siis kasvatab taim rohkem maapealset rohtset massi, et suurendada lehepinda ning kasvu, mistõttu oligi sügiseks maapealse võsu osakaal suurenenud.



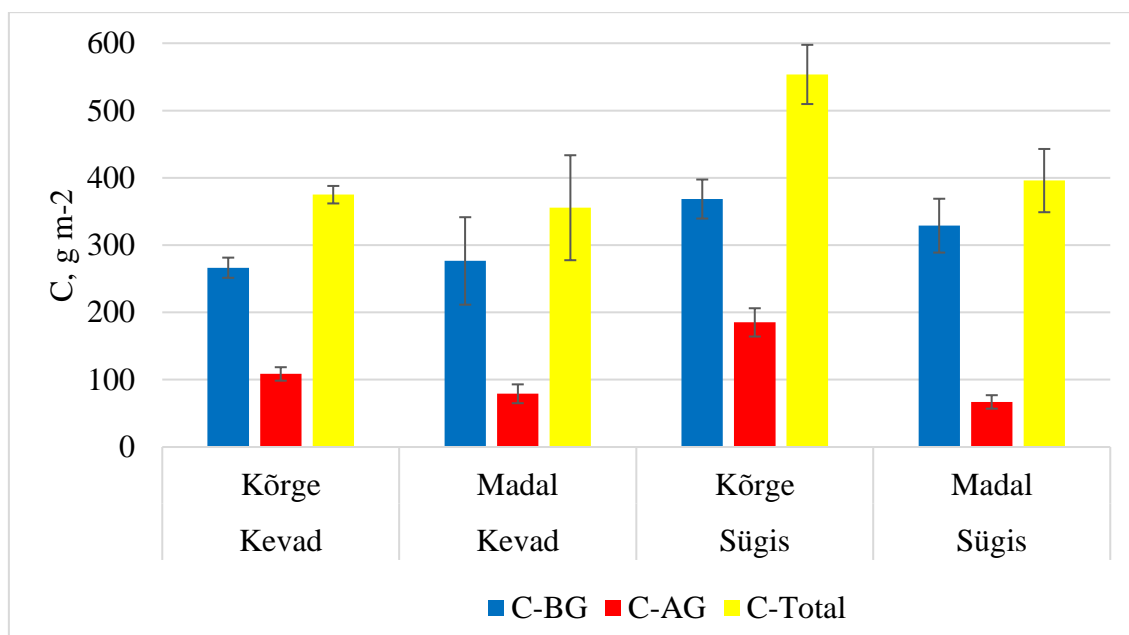
Joonis 7. Juur/võsu suhe kõrge ja madala veetaseme korral.

Kui niiskustingimused ei ole taime kasvuks optimaalsed, siis suunab taim rohkem ressursse juurtesse, et vett ja toitaineid lihtsamini kätte saada, samal ajal pidurdub taime maapealne kasv. Eelnevalt öeldut väljendasid ka meie tulemused: juur/võsu suhe oli oluliselt suurem madala veetasemega alal. Samuti on märgata, et 2016. ja 2017. aastal oli madala veetasemega alal sügiseiti kõrgem (vastavalt $2,8 \pm 0,4$ ja $4,5 \pm 0,6$) juur/võsu suhe kui kevadeti (vastavalt $2,1 \pm 0,4$ ja $3,3 \pm 0,3$) (Joonis 7). Kasvuperioodi jooksul veevajadus suureneb ning selle puudusel taime maapealne kasv pidurdub ja pigem suureneb juurte mass ja pindala, et tagada paremat vee kättesaadavust. Kahe aasta lõikes oli kõrge veetasemega alal juur/võsu suhe vähenenud ning madala veetasemega alal suurenenud (Joonis 7).

3.4 Süsiniku kontsentratsioon biomassis

Maa-aluse osa TOC kontsentratsioon varieerus kõikidel katsealadel vahemikus 47 – 58 % ja maapealses osas 46 – 49 %.

Süsinikuväru oli maa-aluses osas kõikidel aladel suurem võrrelduna taimede maapealse osaga (Joonis 8). Keskmise süsinikusisaldus oli maapealses osas ühesugune nii kõrgetel kui madalatel veetasemetega aladel. Summaarne süsiniku aastane sidumine oli kõrgem kõrge veetasmega alal, kus C oli sügiseks ruutmeetri kohta seotud 1.4 korda rohkem, maa-peal koguni 2.7 korda rohkem (Joonis 8).



Joonis 8. Keskmise seotud süsinik taimses biomassis kõrge ja madala veetaseme korral aastal 2017. C-BG – süsiniku hulk maa-aluses biomassis, C-AG – süsiniku hulk maapealses biomassis C-Total - kogu biomassi süsinik.

Eelnevat arvesse võttes saab väita, et süsiniku sidumine biomassi on otseselt mõjutatud veetasemest. Kõige rohkem oli veetasemest mõjutatud maapealsesse biomassi süsiniku talletamine, ehk kõrgema veetaseme korral oli maapealsesse biomassi rohkem süsinikku seotud. Sama tendentsi kinnitavad ka taimede kasvude, biomasside ning produktsioonide tulemused. Järelikult efektiivseks süsiniku talletamiseks, maapealsesse ja maa-alusesse biomassi, tuleks vältida liiga madalat veetaset rekultiveeritavatel aladel.

Kokkuvõte

Käesolevas bakalaureusetöös analüüsiti päideroo kasvu ning maapealsete ja maa-aluste biomasside süsiniku sisaldust kõrge ja madala veetaseme tingimustes. Päideroog külvati Keressaare turbaväljadel 2015. aastal madala ja kõrge veetasemega katselappidele. 2016. ja 2017. aastal kogutud proovid pesti, kaaluti ning analüüsiti.

Antud bakalaureusetöö tulemused näitasid, et päideroo kasv oli suuresti sõltuvuses veetasemest. Kõrgema veetasemega aladel olid nii 2016. kui 2017. aastal päideroo maapealne kasv kõrgem kui madala veetaseme korral. Maapealne biomass oli aga mõlemal kasvuaastal nähtavalt mõjutatud veetasemest, olles madala veetaseme korral väiksem ning kõrge veetasemega alal suurem. 2016. ja 2017. aasta lõikes oli näha nii kõrge kui ka madala veetaseme korral ka maa-aluse biomassi suurenemist. Päideroog on mitmeaastane taim ning iga kasvuaastaga suureneb ka juurte pindala ning madala veetaseme korral suunab taim kasvuenergia juurtesse (Zhang *et al.*, 2014). Eelnevalt öeldut väljendavad ka meie tulemused: juur/võsu suhe oli oluliselt suurem madala veetasemega alal.

Päiderooga taimestatud katselappidel oli turba pH nii kõrge kui ka madala veetasemetega aladel suurenenud keskmiselt 2 korda võrreldes turba algse (2.7) pH-ga.

Aastal 2016 oli päideroo maa-aluse ja maapealse osa kuivainesaagikus nii kõrge kui ka madala veetaseme korral küllaltki sarnased, kogusaagikused vastavalt $457 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja $450 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. 2017. aastal oli kogusaagikus madala veetasemega aladel oluliselt madalam ($182 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) võrreldes kõrge veetasemega katselappide produktsiooniga ($561 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Viimane oli eelneva 2016. aastaga võrreldes tõusnud.

Süsinikuvaru oli maa-aluses osas nii kõrge kui madala veetasemega aladel suurem võrrelduna taimede maapealse osaga. Summaarne süsiniku aastane sidumine oli kõrgem kõrge veetasemega alal, kus C oli sügiseks ruutmeetri kohta seotud 1.4 korda rohkem, maa-peal koguni 2.7 korda rohkem. Eelnevat arvesse võttes saab väita, et süsiniku sidumine biomassi on otseselt mõjutatud veetasemest.

Käesoleva töö tulemusi arvesse võttes võib kokkuvõtvalt öelda, et veetasemel oli suur mõju päideroo kasvule ja produktsioonile. Kõige rohkem oli veetaseme tõstmisest mõjutatud maapealne biomass ja sellega koos ka süsiniku sidumine. Suurim päideroo kasv, produktiivsus ning süsiniku talletamine oli kõrge veetasemega (~20 cm maapinnast) aladel. Järelikult efektiivseks päideroo energiaheinana kasvatamiseks tuleks vältida madalat veetaset rekultiveeritavatel aladel.

Summary

Growing reed canary grass on cutaway peatlands – the effect of raised water level on plant growth and carbon storage.

Natural bogs are important carbon sinks and conservators of biodiversity. The introduction of milling technology led to extensive drainage of bogs, which resulted in large-area cutover peatlands. The original vegetation and biota have been destroyed in the cutover peatlands, therefore the residual bogs act as sources of carbon dioxide. Cutover peatlands are also flammable and affect the surrounding water regime, therefore it is necessary to restore the residual bogs.

One of the effective measures of recultivating cutover peatlands is the planting of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*). Reed canary grass (RCG) is a strong perennial grass up to 2 m high, resistant to drought and icing. RCG is also grown as an energy crop. Boreal regions are characterized by a short vegetation period, which is why the productivity of energy crops, for planting abandoned peatlands, is crucial. Based on the above, it is important to know whether it is necessary to raise the water level for the successful cultivation of RCG in drained cutaway peatlands and how this affects the carbon content of biomass. The aim of this bachelor's thesis was to analyze the growth of RCG in fertilized areas under high and low water conditions in the Keressaare abandoned peat extraction area. The second objective was to analyze how raising the water level affects the above- and belowground biomass dynamics and carbon content of reed canary grass.

Reed canary grass was sown in the Keressaare abandoned peat extraction area in 2015 on a test plots with low and high water levels. Aboveground and belowground biomass samples, collected in 2016 and 2017, were washed, weighed and analyzed. In this work, the height of RCG, above-ground and underground biomass and annual production estimations, root / shoot ratios and biomass C concentrations under high and low water conditions have been analyzed.

The results of this bachelor's thesis showed that the growth of reed canary grass was largely dependent on the water level. In areas with higher water levels, in both 2016 and 2017, the aboveground growth of RCG was higher than in the case of low water levels.

In 2016 and 2017, an increase in underground biomass can be seen at both high and low water levels. This can be explained by the fact that RCG is a perennial plant and the biomass and area of roots and rhizomes increases with each growing season, as well as by the fact that at low

water levels plants allocate more resources to the roots (Zhang *et al.*, 2014). This is also reflected by root / shoot ratio that was significantly higher in the area with low water levels.

In the experimental plots planted with RCG, the pH of peat had increased on average 2-fold in both high and low water level plots compared to the initial (2.7) pH of peat.

Aboveground biomass was affected by water level in both 2016 and 2017 season, being lower at low water levels and higher in areas with high water levels. In 2016, the estimates of belowground and aboveground biomass production of RCG were quite similar at both high and low water levels, respectively $457 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ and $450 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. In 2017, the total production in low-water areas was significantly lower ($182 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) compared to the production of high-water test plots ($561 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). The latter had increased compared to the previous (2016) year.

The concentration of C in the belowground biomass was higher in both high and low water areas compared to the concentration of aboveground biomass of the RCG. The total annual carbon concentration was higher in the area with high water level, where the amount of C was 1.4 times higher per square meter in the autumn, and even 2.7 times higher in aboveground. Thus, it can be stated that the carbon storage in biomass of RCG is directly affected by water level in abandoned peat extraction area. Above-ground biomass (and it's carbon concentration) was most affected by low water levels.

Taking into account the results of the present bachelors thesis, it can be said that the water level in abandoned peat extraction area has a great impact on the growth, above- and belowground biomass, annual production of RCG and on biomass carbon content. The highest growth, productivity and carbon storage of RCG were in areas with high water (~20 cm from ground) level. Consequently, it is necessary to avoid low water levels in cutover peatlands for efficient cultivation of RCG as energy crop.

Tänuavaldused

Erilist tänu soovin avaldada Ivika Ostonen-Märtinile põhjaliku juhendamise eest. Samuti soovin ma väga tänada Martin Maddisoni heade nõuannete ja igakülgse abi eest.

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatud andmed on kogutud FACCE-ERA-NET+ projekti „Kliimateadlik maaviljelus soomuldadel“ (‘Climate Smart Agriculture on Organic Soils’ - CAOS) raames ning on finantseeritud Euroopa Liidu teadusuuringute ning tehnoloogia arendamise seitsmenda raamprogrammi poolt (grandi number 031A543A).

Kirjandus

- Annuk, K., 1979. Päideroo niitmise sagedusest, kõrgusest ja kolmeniitelise kasutuse niidetevahelise perioodi pikkusest. Teaduse Saavutusi ja Eesrindlikke Kogemusi põllumajanduses 27, lk 44-48.
- Annuk, K., Aavola, R., 2006. Liikide agronoomiline iseloomustus ja sordid. Bender, A., Rehema, V. (toim.). Eritüübiliste rohumaaade rajamine ja kasutamine. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, lk 78-100.
- Bender, A., 2014. Kokkuvõte Jõgeval läbiviidud päideroo (*Phalaris arundinacea* L.) seemnekasvatuse katsete tulemustest. Journal of Agricultural Science 25, lk 3-16.
- Eesti Turbaliit, (i.a). kättesaadav: <https://www.turbaliit.ee/kaevandamine/> (25.05.20).
- Groeneveld, E., Rochefort, L., 2002. Nursing plants in peatland restoration: On their potential use to alleviate frost heaving problems. In Suo 53, pp 73–85.
- Järveoja, J., 2011. Kasvuhoonegaaside emissioon päideroo abil rekultiveeritavalt turbatootmisalalt (Magistritöö). Tartu Ülikool 75 lk.
- Kansas State University Range page, 2016. Kättesaadav: <http://spuds.agron.ksu.edu/ksgrasskey/images/Phalarisarundinacea.jpg> (25.05.20).
- Kask, M., Vaga, A. (toim.), 1966. Eesti taimede määraja. Valgus, Tallinn, 1187 lk.
- Keskkonnaministeerium, 2018. Jääksoode korrastamine. Kättesaadav: <https://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/maapou/turvas/jaaksoode-korrastamine> (20.05.20).
- Kuusk, V., Talts, S., Viljasoo, L., 1979. Eesti NSV floora, XI kd. Valgus, Tallinn, 567 lk.
- Maa-ameti geoportaal, 2017. Ajaloolised kaardid. Kättesaadav: <https://geoportaal.maaamet.ee> (23.05.20).
- Maddison, M., Järveoja, J., Teemusk, A., Viru, B., Torga, R., Ostonen, I., Mander, Ü., 2019. Veetaseme mõju kasvuhoonegaaside emissioonile energiaheina *Phalaris arundinaceae* kasvatamise eksperimendilt Keressaare turbatootmise jääkalal. In: Pae, T., Mander, Ü. (toim.). *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 113. Tartu Ülikooli geograafia osakond, Tartu, 363 lk.
- Maddison, M., Järveoja, J., Kuller, R., Muhel, M., Ostonen, I., Teder, H., Teemusk, A., Torga, R., Viru, B., Mander, Ü., 2017. C and N dynamics in reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) cultivation on an abandoned peat extraction area with low soil pH. Presented at the International Conference on Climate Smart Agriculture on Organic Soils, Tartu Ülikool, Uppsala, Sweden.
- Masing, V., 1988. Soode mõiste, levik ja väärtus. - Rmt-s: Eesti sood. Valgus, Tallinn, lk 7-21.
- Masing, V., Rauk, H. (toim.), 1992. Ökoloogialeksikon: loodusteaduslik oskussõnastik. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn.

- meteo.physic.ut.ee, 2017. Kättesaadav: <https://meteo.physic.ut.ee/> (31.05.20).
- Noormets, M., 2007. Rohtsete energiakultuuride uuringud. Aruanne Maaelu Edendamise Sihtasutusele. Tartu, 133 lk.
- Orru, M., 1992. Eesti turbavarud. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Paal, J., 2011. Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. Eesti Turbaliit, Tartu, 167 lk.
- Rattas, M., Rosentau, A., Post, T., 2015. Maavarad ja kaevandustehnoloogiad. Loengukonspekt, (27.05.2020).
- Robinson, D., Hodge, A., Fitter, A., 2003. Constraints on the Form and Function of Root Systems, in: de Kroon, H., Visser, E.J.W. (Eds.), Root Ecology, Ecological Studies. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 1–31.
- Shurpali, N.J., Hyvönen, N.P., Huttunen, J.T., Biasi, C., Nykänen, H., Pekkarinen, N., Martikainen, P.J., 2008. Bare soil and reed canary grass ecosystem respiration in peat extraction sites in Eastern Finland. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 60, pp 200–209. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00325.x>
- Triisberg, T., 2014. Factors influencing the re-vegetation of abandoned extracted peatlands in Estonia. (Doktoritöö). Tartu Ülikooli Ökoloogia-ja maateaduste instituut, Tartu, 133 lk.
- Trumm, U., Rozental, V., Kään, T., Niitlaan, E., Klein, M., Jõgi, M., Raussi, T., Püvi, Ü., Rajamets, T. (toim.), 2012. Eesti turbatööstuse ajalugu, Tallinn.
- Ust'ak, S., Šinko, J., Muñoz, J., 2019. Reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) as a promising energy crop. *Journal of Central European Agriculture* 20, pp 1143–1168. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2267>
- Wind-Mulder, H.L., Rochefort, L., Vitt, D.H., 1996. Water and peat chemistry comparisons of natural and post-harvested peatlands across Canada and their relevance to peatland restoration. *Ecological Engineering* 7, pp 161–181.
- Zhang, C., Kellomäki, S., Zhong, Q., Wang, K., Gong, J., Qiao, Y., Zhou, X., Gao, W., 2014. Seasonal biomass allocation in a boreal perennial grass (*Phalaris arundinacea* L.) under elevated temperature and CO₂ with varying water regimes. *Plant Growth Regul* 74, pp 153–164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9907-y>

Lisa 1



Joonis 1. Keressaare turbatootmisala 2017. a septembris (foto: Martin Maddison).



Joonis 2. Vee reguleerimine freesturbaalal 2017. a mais (foto: Martin Maddison).



Joonis 3. Päideroog uuritavaal freesturbaalal 2017. a augustis (foto: Martin Maddison).

Lisa 2

Tabel 1. Taimede keskmine kõrgus (cm) kõrge ja madala veetaseme korral aastatel 2016-2017. SE - standardviga.

Katselapp	06.07.2016	18.07.2016	05.08.2016	19.08.2016	08.09.2016	21.06.2017	05.07.2017	21.07.2017	16.08.2017	05.09.2017
RO-k1	28	29	32	28	38	40	46	50	50	47
RO-k2	14	15	19	17	21	31	32	31	36	34
RO-k3	13	15	16	17	20	28	29	26	25	29
RO-k4	15	18	21	21	24	36	35	31	36	28
Keskmine \pm SE	17 \pm 3.2	19 \pm 3.0	22 \pm 3.1	21 \pm 2.3	26 \pm 3.7	34 \pm 2.4	36 \pm 3.3	35 \pm 4.7	37 \pm 4.6	35 \pm 3.9
RO-m1	18	24	19	26	28	31	30	29	33	32
RO-m2	13	15	15	18	21	28	25	27	36	31
RO-m3	11	15	16	16	19	26	27	28	32	31
RO-m4	13	15	18	17	24	27	29	32	30	29
Keskmine \pm SE	14 \pm 1.3	17 \pm 2.0	17 \pm 0.8	19 \pm 2.0	23 \pm 1.8	28 \pm 1.0	28 \pm 1.0	29 \pm 1.0	33 \pm 1.1	31 \pm 0.6

Lisa 3

Tabel 2. Maapealse ja maa-aluse biomassi keskmised väärtused kõrge ja madala veetaseme korral aastatel 2016-2017. SE - standardviga.

Aasta	Aastaaeg	Veetase	Maapealne biomass, g m ⁻² ± SE	Maa-alune biomass, g m ⁻² ± SE
2016	Kevad	Kõrge	46 ± 5	128 ± 12
2016	Sügis	Kõrge	181 ± 33	404 ± 82
2017	Kevad	Kõrge	235 ± 21	563 ± 32
2017	Sügis	Kõrge	388 ± 43	736 ± 56
2016	Kevad	Madal	65 ± 9	129 ± 18
2016	Sügis	Madal	159 ± 25	420 ± 30
2017	Kevad	Madal	167 ± 29	557 ± 131
2017	Sügis	Madal	137 ± 21	602 ± 74

Lisa 4

Tabel 3. Päideroo biomassi aastane produktsioon.

Aasta	Veetase	Maa-alune produktsioon, g m ⁻² a ⁻¹	Maapealne produktsioon, g m ⁻² a ⁻¹
2016	Kõrge	276	181
2016	Madal	291	159
2017	Kõrge	173	388
2017	Madal	45	137

Lisa 5

Tabel 4. Süsiniku keskmised kogused (g m^{-2}) maapealses ja maa-aluses biomassis 2017. aastal. C-BG – süsiniku kogus maa-aluses biomassis. C-AG – süsiniku kogus maapealses biomassis. SE - standardviga.

Aasta	Aastaaeg	Veetase	C-BG, \pm SE	C-AG \pm SE	C-Total \pm SE
2017	Kevad	Kõrge	266 ± 15	109 ± 10	375 ± 13
2017	Kevad	Madal	276 ± 65	79 ± 14	356 ± 78
2017	Sügis	Kõrge	368 ± 29	185 ± 21	554 ± 44
2017	Sügis	Madal	329 ± 40	67 ± 10	396 ± 47

Lisa 6

Tabel 5. Kõikide katselappide maapealse ja maa-aluse biomasside keskmised väärtused ja juur/võsu suhted. SE - standardviga.

Aasta	Aasta-aeg	Katselapp	Maa-alune biomass, g m^{-2}	Maapealne biomass, g m^{-2}	Juur/võsu suhe
2016	Kevad	RO-k1	104.3	32.6	3.2
2016	Kevad	RO-k2	110.1	44.5	2.5
2016	Kevad	RO-k3	152.1	56.7	2.7
2016	Kevad	RO-k4	143.7	50.5	2.8
		Keskmine \pm SE	128 ± 12	46 ± 5	2.8 ± 0.2
2016	Kevad	RO-m1	182.1	59.2	3.1
2016	Kevad	RO-m2	119.2	49.2	2.4
2016	Kevad	RO-m3	102.7	60.0	1.7
2016	Kevad	RO-m4	112.0	90.8	1.2
		Keskmine \pm SE	129 ± 18	65 ± 9	2.1 ± 0.4

2016	Sügis	RO-k1	303.5	269.0	1.1
2016	Sügis	RO-k2	333.4	172.9	1.9
2016	Sügis	RO-k3	327.8	110.1	3.0
2016	Sügis	RO-k4	649.7	173.9	3.7
		Keskmine \pm SE	404 \pm 82	181 \pm 33	2.4 \pm 0.6
2016	Sügis	RO-m1	387.5	231.8	1.7
2016	Sügis	RO-m2	503.5	135.2	3.7
2016	Sügis	RO-m3	417.8	142.7	2.9
2016	Sügis	RO-m4	369.9	125.5	2.9
		Keskmine \pm SE	420 \pm 30	159 \pm 25	2.8 \pm 0.4
2017	Kevad	RO-k1	498.3	261.8	1.9
2017	Kevad	RO-k2	530.0	204.2	2.6
2017	Kevad	RO-k3	579.7	279.8	2.1
2017	Kevad	RO-k4	642.7	192.3	3.3
		Keskmine \pm SE	563 \pm 32	235 \pm 21	2.5 \pm 0.3
2017	Kevad	RO-m1	941.0	252.1	3.7
2017	Kevad	RO-m2	500.7	141.7	3.5
2017	Kevad	RO-m3	432.0	131.5	3.3
2017	Kevad	RO-m4	354.4	141.3	2.5
		Keskmine \pm SE	557 \pm 131	167 \pm 29	3.3 \pm 0.3
2017	Sügis	RO-k1	882.0	483.7	1.8
2017	Sügis	RO-k2	655.3	435.2	1.5
2017	Sügis	RO-k3	762.4	338.6	2.3
2017	Sügis	RO-k4	643.4	295.3	2.2
		Keskmine \pm SE	736 \pm 56	388 \pm 43	1.9 \pm 0.2

2017	Sügis	RO-m1	713.7	199.2	3.6
2017	Sügis	RO-m2	633.5	119.4	5.3
2017	Sügis	RO-m3	673.9	115.3	5.8
2017	Sügis	RO-m4	386.5	112.2	3.4
		Keskmine \pm SE	602 \pm 74	137 \pm 21	4.5 \pm 0.6

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Madli Jürgenson,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Päideroo kasvatamine Keressaare jääkturbaalal - veetaseme tõstmise mõju taimede kasvule ning süsiniku sidumisele

mille juhendajad on Ivika Ostonen-Märtin ja Martin Maddison,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab kasutada teost ärieesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandit ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Madli Jürgenson

1.06.2020